

# Perencanaan dan Evaluasi Sistem Penyulang Ganda Sebagai *Backup Power Supply* PT. X

Muhammad Fahmi Hakim<sup>\*a)</sup>, Ahmad Hermawan<sup>a)</sup>, Habib Priyo Budianto<sup>a)</sup>,  
Yudistiro Yanuarianto<sup>b)</sup>

(Received 4 Mei 2024 || Revised 20 Juni 2024 || Accepted 30 Juni 2024)

**Abstract:** In order to meet the needs of electrical energy, PT X. receives electricity supply from PLN as the main source while the generator with a total capacity of 2.228,5 KVA as a backup electricity supply. PT X plans to procure a double feeder as a backup power supply to replace the generator set in the hope of getting a more economical backup power supply. So, the purpose of this study are analyzing the planning and technical calculations for the construction of a premium feeder, analyzing the comparison of the use of generator setting with double feeder from economic point of view, and analyzing the comparison of the efficiency of using generator setting with the use double feeder. The method used in this study was the IRR (Internal Rate of Return) method to determine the value of the rate of return on investment while the SAIDI – SAIFI data was used to determine the reability of the feeder. The result of this research is the double feeder using MVTIC type construction. For Rp/kWh, the use of premium service, namely B3/TM customers is Rp. 1.162,78 per kWh and B2/TM Rp. 1.574,7 per kWh, while Rp/kWh generator setting is Rp. 4.003 per kWh. Meanwhile the double feeder IRR values is 44% and the generator setting is 24%. So, it is more efficient to use PLN premium service.

**Keywords:** Double feeder, power supply reliability, backup power system, system efficiency

## 1. Pendahuluan

Penelitian ini sangat penting karena memastikan ketersediaan pasokan listrik yang andal merupakan salah satu faktor kunci dalam menjaga keberlangsungan operasional industri, termasuk di PT. X. Gangguan pada pasokan listrik dapat menyebabkan kerugian finansial yang signifikan dan menurunkan produktivitas [1], [2]. Oleh karena itu, evaluasi sistem cadangan daya seperti penyulang ganda menjadi krusial untuk mengurangi risiko gangguan listrik. Studi ini bertujuan untuk memberikan kontribusi penting dalam bidang manajemen energi industri, khususnya dalam memastikan keandalan pasokan listrik yang berkesinambungan.

Masalah utama yang dihadapi adalah sering terjadinya pemadaman listrik yang tidak terduga, yang dapat berdampak buruk pada operasi harian PT. X. Sistem penyulang tunggal yang saat ini digunakan tidak selalu mampu menjamin kestabilan pasokan listrik saat terjadi gangguan. Hal ini menyebabkan perlunya sistem cadangan yang lebih handal dan efisien untuk meminimalisir dampak negatif dari pemadaman listrik. Sistem cadangan di PT. X saat ini disuplai oleh genset sejumlah 9 unit dengan kapasitas total 2.228,5 kVA. Identifikasi masalah ini menjadi dasar bagi penelitian ini dalam merencanakan dan mengevaluasi sistem penyulang ganda.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan berbagai metode untuk perencanaan suatu penyulang. Misalkan, Badruzzaman dan Astuti menganalisis perencanaan teknis jaringan pelanggan premium CV. SN Jaya Prima di PT. PLN (Persero) Distribusi Area Purwokerto. Parameter yang dianalisis antara lain indeks keandalan, jatuh tegangan, serta skema penyalurannya [3]. Jarwa dan Suhardi melakukan analisis pembangunan dan pemasangan jaringan distribusi tegangan menengah pada pelanggan premium yang menggunakan saluran kabel udara tegangan menengah dengan *Medium Voltage Isulation Cable* (MVTIC) dengan jenis kabel NFA2XSEY-T dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) dengan kabel XLPE yaitu NA2XSEYBY [4]. Setyoko et al. menganalisis penambahan jaringan baru untuk keandalan pelanggan premium di penyulang SL6 PLN ULP Sungailiat dengan

hasil pembangunan jaringan baru pada pelanggan premium ini tidak layak ekonomis (*unfeasible*) dan rencana investasi tidak direkomendasikan untuk diterapkan [5].

Terdapat kesenjangan dalam penelitian yang ada mengenai implementasi dan evaluasi sistem penyulang ganda di industri, khususnya di PT. X. Penelitian yang ada lebih banyak berfokus pada aspek teknis dan kurang memperhatikan kondisi ekonomis. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian yang lebih aplikatif dan kontekstual untuk menguji keandalan sistem penyulang ganda dalam kondisi teknis dan ekonomis.

Penelitian ini mengusulkan konsep baru dengan menerapkan perencanaan beserta evaluasi ekonomis yang komprehensif untuk menguji keandalan dan efisiensi sistem penyulang ganda. Dengan memanfaatkan pengambilan data lapangan, penelitian ini bertujuan untuk memberikan perencanaan yang lebih akurat dan evaluasi ekonomis sistem penyulang ganda khususnya untuk PT. X. Pendekatan ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan penelitian sebelumnya dan memberikan solusi yang lebih aplikatif bagi industri.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan dan mengevaluasi secara ekonomi sistem penyulang ganda sebagai suplai daya cadangan di PT. X. Hasil evaluasi ekonomis itu dibandingkan dengan evaluasi ekonomis penggunaan generator set. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana sistem ini dapat meningkatkan keandalan pasokan listrik dan mengurangi waktu henti operasional. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang mempengaruhi efisiensi sistem dan memberikan rekomendasi praktis untuk implementasi di industri. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang manajemen energi industri dan membantu PT. X dalam meningkatkan keandalan operasional mereka.

## 2. Metode

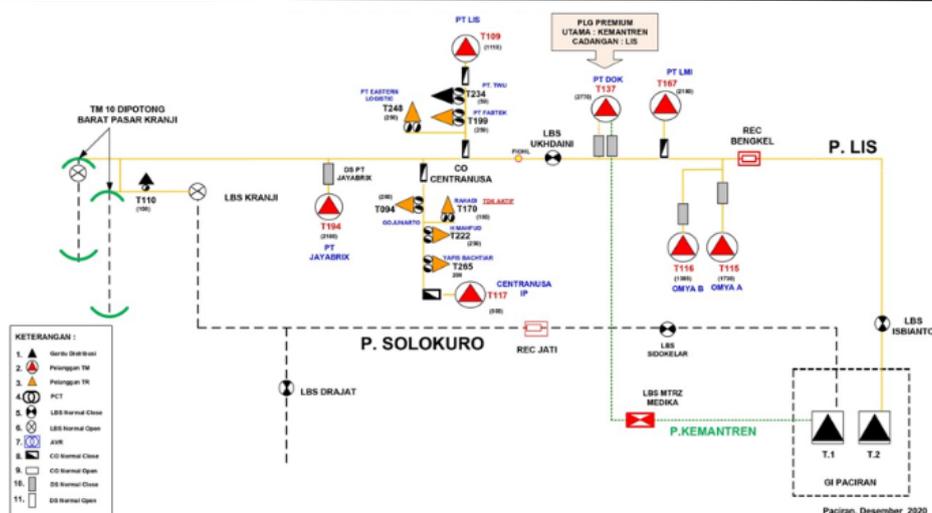
### 2.1 Diagram Segaris Penyulang Lis

Gambar 2.1 menunjukkan Penyulang Lis yang menyuplai energi listrik ke PT X.

\*Korespondensi: [m.fahmihakim@polinema.ac.id](mailto:m.fahmihakim@polinema.ac.id)

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

b) PLN Icon Plus, Jakarta, Indonesia



GAMBAR 2.1 DIAGRAM SEGARIS PENYULANG LIS

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat diketahui bahwa kebutuhan energi listrik di PT. X dipasang dari Gardu Induk (GI) Paciran. Dikarenakan Lamongan Shorebase terdiri dari 2 jenis pelanggan listrik yaitu pelanggan sisi Tegangan Menengah (TM) dan pelanggan sisi Tegangan Rendah (TR), maka saluran pelanggan TM masuk ke panel *Medium Voltage* (MV) kubikel *incoming* PLN kemudian masuk menuju ke panel kubikel *incoming* milik PT. X dengan kapasitas daya trafo sebesar 2.000 KVA sejumlah 1 unit.

## 2.2 Penyulang Ganda

Penyulang ganda adalah sebuah jaringan listrik sistem distribusi yang menyalurkan energi listrik dari Gardu Induk yang disalurkan menuju ke pelanggan dengan level tegangan dari 20 KV ke 380 V/220 V kepada pelanggan umum atau 20 KV ke pelanggan khusus [6]. Kemampuan penyulang ganda yang menguntungkan adalah kemampuan sistem jaringan dalam mengatasi gangguan ataupun pemeliharaan dengan cara menyediakan minimal 2 (dua) penyulang yang siaga (*standby*) sehingga apabila sewaktu-waktu terjadi pemadaman pada salah satu penyulang, maka penyulang lainnya dapat menjadi cadangan.

## 2.3 Perhitungan KHA (Kemampuan Hantar Arus) Kabel

Menghitung KHA kabel sangat dibutuhkan sebelum menentukan penghantar yang sesuai dengan kebutuhan. Persamaan (2-1) digunakan untuk menghitung arus nominal beban (I) apabila diketahui nilai daya semu (S) [7], [8].

$$I = \frac{S (kVA)}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} (A) \quad (2-1)$$

Dengan demikian nilai KHA penghantar dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-2).

$$KHA = 125\% \times I \quad (2-2)$$

Nilai 125% merupakan ketentuan yang ada di PUIL 2011 [9].

## 2.4 Perhitungan Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan nilai tegangan yang hilang pada suatu penghantar [10]. Persamaan (2-3) digunakan menghitung jatuh tegangan.

$$\Delta V = \frac{I \times L \times X_{cu/Xal} \times \sqrt{3}}{A} \quad (2-3)$$

Keterangan untuk Persamaan (2-3):

$\Delta V$  = Drop tegangan (V)

I = Arus (A)

L = Panjang penghantar (m)

$X_{cu/Xal}$  = Tahanan jenis tembaga/aluminium (mm/Ω)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Menurut standar SPLN 72 : 1987 nilai jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah adalah maksimal sebesar 5% dari nilai tegangan 20 kV [11]. Dengan demikian nilai jatuh tegangan maksimal sebesar 1 kV.

## 2.5 Lightning Arrester (LA)

*Lightning arrester* berfungsi sebagai alat proteksi utama dari tegangan lebih. Pemilihan *arrester* dimaksudkan untuk mendapat tingkat isolasi dasar yang sesuai dengan *Basic Insulation Level* (BIL) peralatan yang dilindungi sehingga peralatan tersebut mendapatkan perlindungan yang baik [12], [13], [14].

Pada jaringan tegangan menengah, *arrester* ditempatkan pada sisi tegangan dengan rating tegangan 20 kV. Tegangan dasar yang dipakai adalah 20 kV. Nilai tegangan tersebut sama dengan tegangan pada sistem. Sedangkan nilai tegangan maksimum sistem dihitung menggunakan Persamaan (2-4).

$$V_{maks} = V_{nominal} \times 110\% \quad (2-4)$$

Keterangan:

$V_{maks}$  = tegangan maksimum sistem (kV)

$V_{nominal}$  = tegangan nominal sistem (kV)

110% = nilai harga rata – rata yang dipakai

Adapun tegangan pengenalan ( $V_p$ ) dihitung menggunakan Persamaan (2-5).

$$V_p = V_{maks} \times 1,1 \quad (2-5)$$

Arus pelepasan LA dihitung menggunakan Persamaan (2-6).

$$I_a = \frac{2 \times U_d - U_a}{Z} \quad (2-6)$$

Persamaan (2-7) digunakan untuk menghitung nilai puncak surja.

$$e = 1,2 \times BIL \text{ Peralatan} \quad (2-7)$$

Keterangan untuk Persamaan (2-4) sampai dengan (2-7) yaitu:

$V_{maks}$  = tegangan maksimum sistem (kV);

$V_{nominal}$  = tegangan nominal sistem (kV);

110% = nilai harga rata – rata yang dipakai;

1,11 = Koefisien tahanan tinggi daerah Jawa Timur;

$I_a$  = Arus pelepasan LA (kA);

$U_d$  = Tegangan impuls (kV);

$U_a$  = Tegangan Percik (KV);

Z = Impedansi (Ω).

Faktor perlindungan merupakan besar perbandingan antara perbedaan tegangan Tingkat Isolasi Dasar (TID) dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja *arrester*. Tingkat perlindungan (TP) *arrester* yaitu dengan menambah 10% nilai toleransi dari nilai pabrikan [15]. Perhitungan TP menggunakan Persamaan (2-8).

$$TP = Va \times 10\% \quad (2-8)$$

Sedangkan menghitung TP menggunakan Persamaan (2-9).

$$FP = \frac{TID-TP}{TP} \times 100\% \quad (2-9)$$

Keterangan untuk Persamaan (2-8) dan Persamaan (2-9):

- TP = Tingkat perlindungan (kV)  
 Va = TID jaringan distribusi (kV)  
 10% = Nilai toleransi pabrik  
 FP = Faktor perlindungan (%)  
 TP = Tingkat perlindungan (KV)  
 TID = Tingkat isolasi dasar (KV)

## 2.6 Perhitungan Pentanahan

Berdasarkan Buku 5 PLN Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah, pentanahan tiang tanpa *arrester* pada jaringan distribusi, nilai pembumiannya tidak boleh melebihi 10  $\Omega$  sedangkan pada tiang yang terdapat *arrester*, nilai pembumiannya sebesar 1  $\Omega$ . Perhitungan nilai pentanahan tiang tanpa *arrester* seperti pada Persamaan (2-10).

$$R_{bt} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \frac{4L}{d} - 1 \right] \quad (2-10)$$

Sedangkan perhitungan nilai pentanahan tiang yang terdapat *arrester* seperti pada Persamaan (2-11).

$$R_p = \frac{1}{N} \times R_{bt} \quad (2-11)$$

Keterangan Persamaan (2-10) dan Persamaan (2-11) yaitu:

- $R_{bt}$  = Pembumian batang tunggal ( $\Omega$ )  
 $\rho$  = rho jenis elektroda (mm/ $\Omega$ )  
 L = Panjang elektroda (m)  
 d = Diameter (inchi)  
 N = Jumlah elektroda yang akan di paralel  
 $R_p$  = tahanan elektroda tiang terdapat *arrester* ( $\Omega$ ).

## 2.7 Perhitungan Automatic Change Over Switch

Perpindahan dari sumber tegangan yang terganggu ke sumber tegangan yang normal penting dilakukan sehingga ketersediaan suplai energi listrik tetap terjaga. Jika salah satu penyulang terganggu maka secara otomatis akan berpindah ke penyulang lain melalui *Automatic Change Over Switch* (ACOS). Perhitungan rating arus *Automatic Change Over* ( $I_{ACO}$ ) menggunakan Persamaan (2-12).

$$I_{ACO} = \frac{S_{TOTAL}}{\sqrt{3} \times 380 V} \quad (2-12)$$

## 2.8 Metode IRR

*Internal of return* atau disingkat IRR adalah salah satu metode untuk melihat indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi [16]. Nilai IRR dihitung menggunakan Persamaan (2-13).

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1) \quad (2-13)$$

Keterangan Persamaan (2-13).

- IRR = *Internal rate of return* (%)  
 $i_1$  = Suku bunga yang menghasilkan NVP positif  
 $i_2$  = Suku bunga yang menghasilkan NVP negatif  
 $NPV_1$  = NVP positif  
 $NPV_2$  = NVP negatif

## 2.9 MARR

MARR (*Minimum Attractive Rate of Return*) adalah suatu tingkat bunga yang digunakan untuk acuan dalam pengambilan keputusan pada suatu proyek atau laju pengembalian minimum dari sebuah investasi. Nilai MARR dihitung menggunakan Persamaan (2-14).

$$MARR = \text{Suku Bunga(BI) 5 tahun terakhir} + \text{Safe Rate} \quad (2-14)$$

Keterangan Persamaan (2-14):

Safe Rate = Faktor resiko (6,82)

## 2.10 Net Present Value (NPV)

NPV adalah selisih antara benefit (penerimaan) dengan cost (pengeluaran) yang telah perkiraan manfaat/*benefit* dari proyek yang direncanakan [17]. Jadi perhitungan NPV mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan. Nilai NPV dihitung menggunakan Persamaan (2-15).

$$NPV = (\text{Arus Kas 1 tahun} \times \text{Discount Rate}) - O_i \quad (2-15)$$

Keterangan Persamaan (2-15):

Discount Rate = Fakto diskonto

$O_i$  = Nilai investasi awal

## 2.11 Harga Energi Genset

Untuk mengetahui harga biaya (Rp)/kWh genset dilakukan dengan menjumlah total pengeluaran biaya operasional dan perawatan genset selama 1 jam dibagi dengan jumlah daya genset yang *running* selama 1 jam tersebut.

$$\text{Biaya tiap kWh} = \frac{\text{Total Biaya}}{P} \quad (2-16)$$

Keterangan Persamaan (2-16):

Total Biaya = Biaya operasional & perawatan 1 jam

P = Daya genset beroperasi 1 jam

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Menentukan Penghantar Utama dari GI ke PT. X dan Jatuh Tegangan di Penghantar

Penghantar utama ditentukan menggunakan Konstruksi Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) yaitu kabel MVTIC. Adapun perhitungan arus nominal beban menggunakan Persamaan (2-1).

$$I = \frac{1.510,6 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ KV}} = 43,60 \text{ A.}$$

Sehingga KHA kabel dihitung menggunakan Persamaan (2-2)

$$\text{KHA kabel} = 125\% \times 43,6 = 54,5 \text{ A.}$$

Dengan mempertimbangkan ketersediaan penghantar di pasaran maka dipilih kabel NFA2XSY-T (3 x 35 mm<sup>2</sup>) dengan KHA 142 A sesuai Buku 5 PLN 2010 Bab Konstruksi SKUTM. Sedangkan perhitungan nilai jatuh tegangan yang mungkin terjadi dari penghantar itu jika jarak GI Paciraan ke PT. X adalah 6 km yaitu:

$$\Delta V = \frac{54,5 \times 6.000 \times \sqrt{3} \times 0,0265}{35} = 428,83 \text{ V.}$$

Menurut standar SPLN 72 : 1987 nilai drop tegangan sebesar 428,83 kV masih memenuhi standar.

### 3.2 Penentuan Lightning Arrester Sistem Penyulang Ganda

*Lightning arrester* berfungsi sebagai alat proteksi utama dari tegangan lebih [xx]. Dalam menentukan LA, perlu dihitung dulu tegangan maksimum sistem menggunakan Persamaan (2-3).

$$V_{maks} = 20 \text{ kV} \times 1,1 = 22 \text{ kV.}$$

Kemudian menghitung tegangan pengenal LA menggunakan

Persamaan (2-4).

$$V_p = 22 \text{ kV} \times 1,11 = 24,42 \text{ KV.}$$

Maka *arrester* yang dipilih yaitu LA dengan tegangan pengenal 27 kV dengan penyesuaian LA yang ada di pasaran.

Selanjutnya ditentukan arus pelepasan *arrester* dengan Persamaan (2-5).

$$I_a = \frac{2 \times 450 \text{ KV} - 65 \text{ KV}}{346,09 \Omega} = 2,22 \text{ kA.}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus pelepasan *arrester* ini yaitu sebesar 2,22 kA maka dapat dipilih *arrester* dengan kelas 5 kA.

TID pada jaringan SUTM PLN Rayon Brondong sebesar 65 kV. Sehingga nilai TP =  $65 \times 10\% = 6,5\%$ . Dengan tingkat perlindungan total sebesar 71,5 kV dan nilai TID Peralatan PLN Rayon Brondong sebesar 150 kV, maka menurut Persamaan (2-9) perhitungan besar faktor perlindungan adalah  $FP = \frac{150 - 71,5}{150} \times 100\% = 52,3\%$ . Faktor perlindungan yang diperoleh dari perhitungan adalah 52,3% dan faktor perlindungan ini lebih besar dari TID Peralatan yaitu yang umumnya sebesar 20% sehingga pemilihan *arrester* dapat memberikan faktor perlindungan yang baik.

### 3.3 Penentuan Pentanahan (Grounding)

Pentanahan ditentukan menggunakan elektroda batang berbahan tembaga, berdiameter 1/2 inchi, dan panjang 8 m. Pada PT. X jenis tanah adalah tanah liat keras/tanah ladang dengan  $\rho = 100 \Omega$ . Menurut Persamaan (2-10), perhitungan nilai pentanahan tanpa tiang LA adalah:

$$R_{bt} = R_{bt} = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 8} \left[ \ln \frac{4 \times 8}{0,5} - 1 \right] = 7,866 \Omega$$

Nilai pentanahan tanpa tiang *arrester* berdasarkan Persamaan (2-11) sebagai berikut.

$$R_p = \frac{1}{10} \times 7,866 \Omega = 0,786 \Omega$$

Dengan demikian tahanan pembumian pada tiang tanpa *arrester* sudah memenuhi standar PLN, yaitu di bawah 10  $\Omega$  dan tiang *arrester* di bawah 1  $\Omega$  memenuhi standar PLN.

### 3.4 Menentukan Automatic Change Over Switch

Adapun perhitungan arus nominal ACOS menggunakan Persamaan (2-12) sebagai berikut.

$$I_{ACO} = \frac{1,510,6 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}} = 2.295,11 \text{ A.}$$

### 3.5 Perhitungan Ekonomis Penggunaan Genset dengan Penyulang ganda

Perhitungan parameter investasi pembelian genset PT. X menggunakan metode NPV dan IRR dengan asumsi umur produktif selama 15 tahun. Adapun data ekonomis bagi genset dan penyulang ganda terdapat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Ekonomis Genset & Penyulang Ganda

No	Parameter	Genset	Penyulang ganda
1	Biaya Investasi	Rp. 9.745.937.200	Rp.1.714.417.056
2	Arus kas per tahun	Rp. 2.520.000.000	Rp.3.332.667.734
3	Depresiasi	Rp. 560.111.333	Rp. 98.529.716

#### 3.5.1 NPV Genset

Pada perhitungan ini diperkirakan nilai pengeluaran apabila genset beroperasi selama masa perkiraan umur genset yaitu 15 tahun dengan MARR sebesar 12% (*discount rate* 6,811). Sehingga perhitungan NPV menggunakan Persamaan 2-15 adalah:

$$NPV = (Rp 2.520.000.000 \times 6,811) - Rp 9.745.937.208$$

$$= Rp 7.417.782.792.$$

Berdasarkan hasil perhitungan NPV diperoleh nilai NPV > 0. Sehingga proyek pembelian 9 unit genset jika beroperasi selama masa produktifnya yaitu 15 tahun maka termasuk kategori layak untuk investasi.

#### 3.5.2 NPV Penyulang Ganda

Pada perhitungan ini diperkirakan nilai pengeluaran jika penyulang ganda beroperasi sampai dengan masa perkiraan umur produktif penyulang ganda yaitu 15 tahun, dengan MARR sebesar 12% (*discount rate* 6,811). Sehingga perhitungan NPV menggunakan Persamaan (2-15) yaitu:

$$NPV = (Rp. 3.332.667.734 \times 6,811) - Rp. 1.714.417.056$$

$$= Rp. 20.984.382.880$$

Berdasarkan hasil perhitungan NPV diperoleh nilai NPV > 0. Hal ini berarti proyek pembangunan *premium feeder* PT. X selama 15 tahun masa produktif penyulang bisa dikatakan proyek tersebut layak untuk investasi.

#### 3.5.3 IRR Genset

Dalam menghitung nilai IRR genset dilakukan dengan memasukkan tingkat suku bunga yang membuat NPV sama dengan nol. Untuk mengetahui nilai NPV positif yaitu dengan memasukkan suku bunga efektif sebesar 12% (*discount rate* 6,811), sedangkan untuk mengetahui nilai NPV negatif yaitu dengan memasukkan suku bunga yang lebih tinggi yang didapat dari tabel *discount rate*, yaitu diasumsikan diambil nilai yang paling tinggi di tabel yaitu sebesar 25% (*discount rate* sebesar 3,859). Adapun perhitungan IRR menggunakan Persamaan (2-13) sebagai berikut. Diasumsikan faktor diskonto 12%, maka nilai NPV:

$$NPV_1 = (Rp 2.520.000.000 \times 6,811) - Rp 9.745.937.208$$

$$= Rp 7.417.782.792.$$

$$\text{Diasumsikan faktor diskonto } 25\%, \text{ maka nilai NPV:}$$

$$NPV_2 = (Rp 2.520.000.000 \times 3,859) - Rp 9.745.937.208$$

$$= Rp - 21.257.208.$$

$$IRR = 12\% + (25\% - 12\%) \times \frac{Rp 7.417.782.792}{Rp 7.417.782.792 - (-21.257.208)}$$

$$= 12\% + (13\% \times 0,99) = 24\%$$

#### 3.5.4 IRR Penyulang Ganda

Dalam menghitung nilai IRR Penyulang dilakukan dengan memasukkan tingkat suku bunga yang membuat NPV sama dengan nol. Untuk mengetahui nilai NPV positif yaitu dengan memasukkan suku bunga efektif sebesar 12% (*discount rate* 6,811), sedangkan untuk mengetahui nilai NPV negatif yaitu dengan memasukkan suku bunga yang lebih tinggi yang didapat dari tabel *discount rate*, yaitu diasumsikan diambil nilai yang paling tinggi di tabel yaitu sebesar 25% (*discount rate* sebesar 3,859). Adapun perhitungan IRR menggunakan Persamaan (2-13) sebagai berikut. Diasumsikan faktor diskonto 12%, maka nilai NPV:

$$NPV_1 = (Rp 3.332.667.734 \times 6,811) - Rp 1.714.417.056$$

$$= Rp 20.984.382.880.$$

$$\text{Diasumsikan faktor diskonto } 25\%, \text{ maka nilai NPV:}$$

$$NPV_2 = (Rp 3.332.667.734 \times 3,859) - Rp 1.714.417.056$$

$$= Rp 12.860.764.786.$$

$$IRR = 12\% + (25\% - 12\%) \times \frac{Rp 20.984.382.880}{Rp 20.984.382.880 - 12.860.764.786}$$

$$= 12\% + (13\% \times 2,5) = 44\%.$$

### 3.6 Harga Energi Genset

Untuk mengetahui harga Rp/kWh genset yaitu dengan menjumlah total pengeluaran biaya operasional dan perawatan genset selama 1 jam di bagi dengan jumlah daya genset yang beroperasi selama 1 jam tersebut. Adapun perhitungannya menggunakan Persamaan (2-16). Jika diketahui total biaya operasional genset per jam adalah sebesar Rp. 5.216.646. Sehingga:

$$\text{Biaya per kWh} = \frac{\text{Rp.5.216.646.}}{1.303,05 \text{ KW}} = \text{Rp 4.003/kWh.}$$

### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merencanakan dan mengevaluasi sistem penyulang ganda sebagai suplai daya cadangan di PT. X. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penyulang ganda mampu meningkatkan keandalan pasokan listrik dan mengurangi waktu henti operasional secara signifikan. Secara kuantitatif, evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa sistem penyulang ganda memiliki Net Present Value (NPV) sebesar Rp 20.984.382.880 dan Internal Rate of Return (IRR) sebesar 44%, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem genset yang memiliki NPV sebesar Rp 7.417.782.792 dan IRR sebesar 24%.

Secara teknis, sistem penyulang ganda yang diimplementasikan di PT. X memiliki kapasitas daya sebesar 2.000 kVA dan mampu menangani arus nominal sebesar 436 A dengan KHA (Kemampuan Hantar Arus) kabel sebesar 545 A. Penurunan tegangan yang terjadi pada penghantar utama dari GI Paciran ke PT. X adalah sebesar 428,83 V, yang masih memenuhi standar SPLN 72: 1987 dengan batas maksimum 1 kV.

Sistem penyulang ganda tidak hanya menyediakan cadangan yang lebih handal, tetapi juga mengurangi biaya operasional jangka panjang. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi efisiensi sistem termasuk pemilihan jenis kabel, perhitungan jatuh tegangan, dan pemasangan lightning arrester yang sesuai dengan standar. Sebagai contoh, tegangan maksimum sistem dihitung sebesar 22 kV dengan tegangan pengenal arrester sebesar 24,42 kV, dan arus pelepasan arrester sebesar 222 kA, yang menunjukkan bahwa sistem proteksi yang dipasang mampu memberikan perlindungan yang memadai.

Untuk meningkatkan kinerja sistem lebih lanjut, disarankan untuk melakukan pemeliharaan rutin pada komponen-komponen kunci dan terus memantau efisiensi operasional melalui pengumpulan data lapangan yang berkelanjutan. Implementasi rekomendasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam manajemen energi industri dan membantu PT. X dalam meningkatkan stabilitas operasional serta mengurangi kerugian finansial akibat pemadaman listrik.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi praktis bagi masalah ketidakandalan pasokan listrik di PT. X, tetapi juga menawarkan panduan yang aplikatif bagi industri lain yang menghadapi tantangan serupa.

#### Referensi

- [1] F. Eka, P. Surusa, Q. Aini, A. I. Pratiwi, and Y. Mohamad, "Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, Jan. 2024, doi: 10.37905/JJEEE.V6I1.22380.
- [2] O. M. Lambonan, A. A. Mokoagow, and S. J. Runtuwene, "Pengaruh Pemeliharaan Konektor Jaringan Tegangan Menengah Penyulang SA 1 Terhadap Keandalan Penyaluran Tenaga Listrik | Jurnal Elektrik," *J. Elektr.*, vol. 2, no. 1, pp. 33–41, 2023.
- [3] Y. Badruzzaman, I. Sheviana, A. T. Elektro, N. Semarang, and J. H. Soedarto, "ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN PELANGGAN PREMIUM CV. SN JAYA PRIMA DI PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI AREA PURWOKERTO," *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, pp. 50–61, Dec. 2020, doi: 10.32497/NCIET.V1I1.48.
- [4] T. Jarwa and D. Suhardi, "Analisa Pembangunan dan Pemasangan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah pada Pelanggan Premium," *Semin. Keinsinyuran Progr. Stud. Progr. Profesi Ins.*, vol. 1, no. 2, pp. 28–37, 2021, doi: 10.22219/skpsppi.v2i1.4357.
- [5] A. D. Setyoko, Asmar, and M. Jumnahdi, "ANALISA PENAMBAHAN JARINGAN BARU UNTUK KEANDALAN PELANGGAN PREMIUM DI PENYULANG SL6 PLN ULP SUNGAILIAT," *Proc. Natl. Colloq. Res. COMMUNITY Serv.*, vol. 3, pp. 88–92, Sep. 2019, doi: 10.33019/SNPPM.V3I0.1321.
- [6] M. Ramdan, F. Herawan, D. Hamdani, and N. Hariyanto, "Pemodelan dan Simulasi Medan Listrik pada Jaringan Distribusi 20 kV Double Feeder Konstruksi 3B," *Rekayasa Hijau J. Teknol. Ramah Lingkungan*, vol. 4, no. 3, pp. 109–132, Nov. 2020, doi: 10.26760/JRH.V4I3.109-132.
- [7] S. Sugianto and A. Mu'is, "PERENCANAAN SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK PELAKSANAAN PROYEK APARTEMEN," *SINUSOIDA*, vol. 19, no. 2, 2017, doi: 10.37277/S.V19I2.163.
- [8] Ahmad Mohajir Lutfhi, "PERHITUNGAN TERMIS DAN KEMAMPUAN HANTAR ARUS KABEL BAWAH TANAH 20 KV PADA PT.PLN (PERSERO) AREA PONTIANAK," *J. Electr. Eng. Energy, Inf. Technol.*, vol. 6, no. 1, Apr. 2018, doi: 10.26418/J3EIT.V6I1.24926.
- [9] R. Gobel et al., "Perancangan Sistem Elektrikal Gedung Asrama Terpadu Man 1 Kota Gorontalo," *Electrichsan*, vol. 11, no. November, pp. 2252–8237, 2022.
- [10] S. W. Dali, I. Ridzki, R. Duanaputri, and E. R. Maulana, "Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk Terhadap Aliran Daya dan Profil Tegangan," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 58–63, 2022.
- [11] I. Ridzki, M. F. Hakim, S. W. Dali, R. Duanaputri, D. P. Putra, and M. Aslam Karomi, "Designing a 20 kV Additional Feeder for Improving Network Performance," *Proc. - IEIT 2023 2023 Int. Conf. Electr. Inf. Technol.*, pp. 372–377, 2023, doi: 10.1109/IEIT59852.2023.10335556.
- [12] D. S. Prawira, T. Wrahatnolo, J. Joko, and T. Rijanto, "Analisis Kinerja Lightning Arrester Akibat Sambaran Petir Sebagai Proteksi Transformator Di PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 771–780, Sep. 2023, doi: 10.24036/JTEIN.V4I2.454.
- [13] A. Aryanto and Z. Lutfiani, "ANALISIS PEMASANGAN LIGHTNING ARRESTER PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PADA PT. PLN (PERSERO) ULP KEPAHANG," *J. Tek. Elektro Rafflesia*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, Oct. 2023.
- [14] A. Ramadhan, T. Suheta, N. Hananur, R. Institut, T. Adhi, and T. Surabaya, "Kemampuan Isolasi Terhadap Tegangan Lebih

- Akibat Sambaran Petir pada Saluran Transmisi 150 kV di Gardu Induk Surabaya Selatan,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 368–373, Apr. 2023, doi: 10.31284/P.SNESTIK.2023.4144.
- [15] A. Mahmudah and Liliana, “Analisis Jarak Penempatan Arrester Sebagai Pengaman Transformator Daya Dari Gangguan Surja Petir,” *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 8, no. 3, pp. 731–739, Aug. 2023, doi: 10.28926/BRILIANT.V8I3.1290.
- [16] O. Dwi Wahyu Nugraha, M. Taufiq, D. Denny Apriliano, A. Khamid, and W. Analisis Kelayakan Investasi Proyek Pembangunan Perumahan Ditinjau dari Aspek Teknis dan Finansial, “Analisis Kelayakan Investasi Proyek Pembangunan Perumahan Ditinjau dari Aspek Teknis dan Finansial,” *Era Sains J. Penelit. Sains, Keteknikan dan Inform.*, vol. 1, no. 3, pp. 108–121, Sep. 2023.
- [17] I. Ira and R. Setiawan, “ANALISIS PERBANDINGAN PENILAIAN KEPUTUSAN INVESTASI MENGGUNAKAN METODE NET PRESENT VALUE (NPV) DAN METODE INTERNAL RATE OF RETURN (IRR),” *J. Manaj. Dan Bisnis*, vol. 1, no. 2, pp. 93–102, Apr. 2023.